KOREAN REGISTER OF SHIPPING

23-7, Jang-Dong, Yusung-gu,
Yusung P. O. Box 29, Taejon,
The Republic of Korea
Phone : +82-42-869-9353
Fax : +82-42-862-6098
E-mail : kr-clt@krs.co.kr
date : 17 February 2010
Person in charge : Lee Hyug-In

TECHNICAL INFORMATION

NO. 2010004/IMO

제 목 : VOC Management Plan 비치요건의 안내

1. VOC(Volatile Organic Compounds 휘발성유기화합물) 배출 규제에 대한 신 요건

○ Res.MEPC.176(58)로 채택된 08 Amend MARPOL Annex VI / Reg.15.6에 따라 원유를 운송하는 탱커는 주관청 또는 RO가 승인한 VOC 관리계획서를 비치하여야 함.

○ VOC 관리계획서의 비치대상 선박과 이행시기
- 비치대상 선박 : 원유를 운송하는 탱커(즉, 현존선/신선 구분 없이 모든 원유탱커).
- 이행 시기 : 승인된 VOC 관리계획서를 2010년 7월 1일 이후부터 본선 비치하고 이행하여야 함.

2. VOC 관리계획서에 대한 한국선급의 승인업무 안내

○ 한국선급 기관기술팀은 VOC 관리계획서의 승인업무(단, 한국적선은 해양환경관리법에 따라 지정된 기관)를 실시 계획이며, 향후 기관기술팀은 상세 기술정보를 별도로 회람 예정임.

3. VOC 관리계획서 개발 시 고려사항

○ MARPOL Annex VI / Reg.15.6에 규정된 것.
- 화물의 적하, 항행 및 양하작업 중 VOC 배출을 최소화하기 위한 절차;
- 원유세정(Crude Oil Washing) 작업 중 발생된 VOC의 배출 감소를 위한 고려;
- 계획서의 이행을 위한 책임자 지정; 그리고
- 선장 및 사관의 언어로 작성. 만약 선장이나 사관의 언어가 영어, 프랑스어 또는 스페인어가 아니라면 이 중 하나의 언어로 된 번역문을 포함하여야 함.

○ VOC 관리계획서는 기구가 개발한 지침(Res.MEPC.185(59))에 따라 작성하여야 함 : 이 기술정보의 4항 참조.

○ VOC 관리계획서 개발 시 MEPC.1/Circ.680(*VOC 관리계획서의 개발을 돕기 위한 기술정보*)에 포함된 정보를 참고할 것 : 이 기술정보의 Annex에서 주요내용 소개.

4. VOC 배출감소를 위해 기구가 개발한 지침(즉, Res.MEPC.185(59))에 명시된 사항

○ 목적
- VOC 관리계획서의 목적은 MARPOL Annex VI / Reg.15의 적용을 받는 탱커의 운전 시 VOC의 배출을 방지하거나 줄이는 것임.
- VOC 배출은 다음과 같은 방식으로 방지하거나 줄일 수 있음:

- 운항 절차의 최적화; 그리고/또는
- 장치, 설비를 사용하거나 설계 변경

- VOC 배출을 일으키는 화물적재 및 화물의 운송을 평가해야 하고 최적의 관리이행 사항을 확보하기 위해 절차를 서면화 해야 한다. 아울러 장치, 설비의 사용 또는 설계변경이 있다면 VOC 관리계획서에 반영하여야 한다.

○ 추가적인 고려사항

- 이 계획서의 이행 책임자
  - 이 계획서의 이행 책임자를 지정하여야 하고 그 책임자는 관련 업무를 이행하기에 적절한 인원을 선정할 수 있다.
- VOC 배출을 방지하거나 줄이기 위한 절차
  - 다음과 같은 운전에 대하여 특정 절차를 서면화하거나 수정하여야 한다.
    · 화물의 적하;
    · 관련 화물의 운송; 그리고
    · 원유 세정
  - 선박에 VOC 감소 장치나 설비가 설치되어 있다면, 이러한 장치나 설비의 사용은 상기 절차에 통합되어야 한다.
- 훈련
  - 최적의 관리이행 사항을 촉진하기 위해 이 계획서에 훈련 프로그램을 기술해야 한다.

Annex

MEPC.1/Circ.680(*VOC 관리계획서의 개발을 돕기 위한 기술정보*)에 포함된 주요사항

SECTION 1 - 선체 구조상 견디는 허용압력

○ 화물탱크 얼리지(ullage)의 허용압력

- 화물탱크는 설계 부하(load)를 견딜 수 있도록 설계되는데, 이러한 부하는 액체화물의 압력 및 탱크 얼리지 압력으로 조합되어 있다. 탱크 얼리지 압력은 최소 25 kN/m^2 또는 압력 릴리프 밸브(P/V valve)의 열림 압력 중에서 큰 값이다. 따라서, 표준 탱크에서 최대 허용 얼리지 압력은 대체로 25 kN/m^2(즉, 대략 2,550 mmWG)로 본다. 그러나, 강도 및 기타 설계부하 값은 보다 높은 실제 허용압력을 적용할 수도 있다.
- 부압 관점에서 볼 때, SOLAS Reg.II-2/11.6은 화물탱크의 허용 부압으로 -700 mmWG를 명시하고 있다.
- 최대 허용압력의 초과는 구조적인 결함을 야기할 수 있다. 구조적인 결함으로 인하여 결국 탱크가 대기에 노출되어 해양오염 유발과 함께 VOC의 대기 배출을 발생시킬 것이고 불활성 가스도 배출된다.

○ 전형적인 화물탱크 벤트시스템

- 화물탱크 벤트 및 불활성가스 시스템의 설계는 SOLAS Reg.II-2/11.6 및 .5에 규정되어 있다.
- 대부분의 원유탱커는 화물탱크 벤트 및 불활성가스(유증기 배출 통제용으로도 사용) 주관을 공용으로 사용하며, 각 화물탱크로의 지관에는 독립 밸브 및 브랭크 장치가 제공된다. 화물탱크 벤트/불활성 가스 주관은 마스트 라이저에 연결돼 있다. 독립 밸브는 화물탱크 벤트/불활성가스 주관과 마스트 라이저 사이에 제공된다.
- 액체를 채운 P/V 브레이커는 일반적으로 화물탱크 벤트/불활성가스 주관에 연결돼 있다. P/V 브레이커는 화물의 적하(화물 적재율과 양하율의 125%) 동안 화물탱크로부터 가스 유동을 수용하는 용량을 가지고 있다. 화물탱크 벤트/불활성가스 주관은 대게 화물의 적하 및 양하 작업시 사용된다.
- 화물의 적하 동안 마스트 라이저 밸브는 열리게 되어 VOC가 대기로 배출되지만(유증기 배출제어 시스템으로 회수하지 아니한 경우), 화물의 양하 동안에는 마스트 라이즈는 닫혀있고 탱크를 불활성가스로 채우곤 한다.
- 화물탱크 벤트/불활성가스 주관은 항해 중에도 사용되지만 마스트 라이즈 밸브는 화물탱크 내 유증기의 얼리지 압력이 증가한 경우에만 작동한다.
- 화물탱크 벤트/불활성가스 공동 주관에 추가하여, 독립적으로 각 화물탱크에는 온도변화에 따른 탱크호흡을 위해 압력/진공 릴리프 밸브(P/V 밸브)가 요구되는데, 최근 산업계에서는 화물 적하 시 가득 찬 가스의 유동을 수용할 수 있는 용량의 장치를 설치할 것이 요구된다.

○ P/V 밸브의 전형적인 설정치

- 화물탱크의 설계압력이 대게 +2,500 mmWG 및 -700 mmWG 이지만, 원유탱커에서 전형적인 압력/진공 밸브 설정값은 +1,400 mmWG 및 -350 mmWG 이다.

○ P/V 브레이커의 전형적인 설정치

- P/V 브레이커의 설정값은 대게 +1,800WG 및 -500 mmWG 이다. 다만, 액체를 채운 P/V 브레이커의 경우 그 설정값은 선박의 운동특성(롤링과 피칭)을 고려해야 한다.

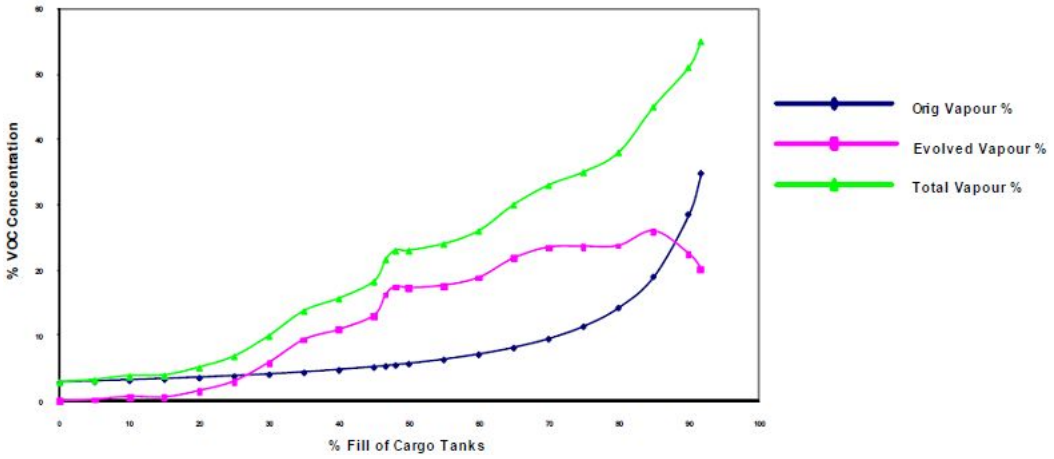
SECTION 2 - 원유탱커의 P/V 밸브 시스템

○ 소개

- 원유탱커로부터 유증기 배출은 3가지 경우로 발생 한다 : 화물의 적하 동안, 화물을 적재한 채 양하항으로 항해하는 동안, 양하항에서 화물탱크의 밸러스팅 동안.
- 1982년 6월 1일 이후 건조된 탱커를 MARPOL 탱커라고 일컫는데 분리된 평형수탱크를 갖추고 있다. 이러한 요건이 발효됨으로 인하여, 황천에 대비하여 원유세정된 탱크 중에서 한 개의 탱크가 평형수탱크로 지정된 것을 제외하고 화물탱크에는 평형수를 적재하지 않게 되었다. 그리하여, 양하항에서 화물탱크로부터 유증기 배출은 일어나지 않게 되었다. 이러한 상황에서 두가지(화물 적하, 화물의 운송) 경우가 원유탱커로부터 유증기 배출 인자로 남아 있다.

○ VOC의 적하항 배출

- 적하항에서 원유화물 유증기 배출은 여전히 발생하고 있다. 이때 배출되는 유증기는 두 가지의 탱커 작업에서 기인한다; 즉, 화물 적하 전에 화물탱크 시스템에 잔존하고 있는 유증기 및 화물의 적하 동안 발생한 유증기.
- 화물탱크로부터 치환되는 첫 번째 부분의 유증기는 이전의 배출 프로그램 동안 생성된 유증기로써 특히 화물탱크의 원유세정작업 동안 발생된 유증기이다. 화물탱크 내 상호 혼합가스(탄화수소 유증기와 불활성가스) 중에서 유증기 부분의 농도는 화물 적하를 시작하기 전에 결정할 수 있다.
- 치환되는 유증기의 두 번째 부분은 화물의 적하 동안 발생한다. 이러한 유증기 배출은 적하량에 따른 화물탱크 내 난류 및 적하 배관 내의 압력 차이에서 기인한다.
- 화물의 적하 동안 화물탱크 내에서 이러한 가스의 배출의 예는 아래 <그림. 1>과 같다. <그림 .1>은 화물의 적하 동안 측정한 탄화수소 유증기 농도를 보여준다. X축은 탱커의 적하 진행상황 백분율이고 Y축은 탄화수소 유증기(VOC) 농도이다. 이 그래프는 화물탱크의 적하 진행 정도에 따라 합계 VOC 농도를 기록한 것이다.



<그림 .1> 화물의 적하 동안 발생한 유증기 중에서 탄화수소 유증기의 농도

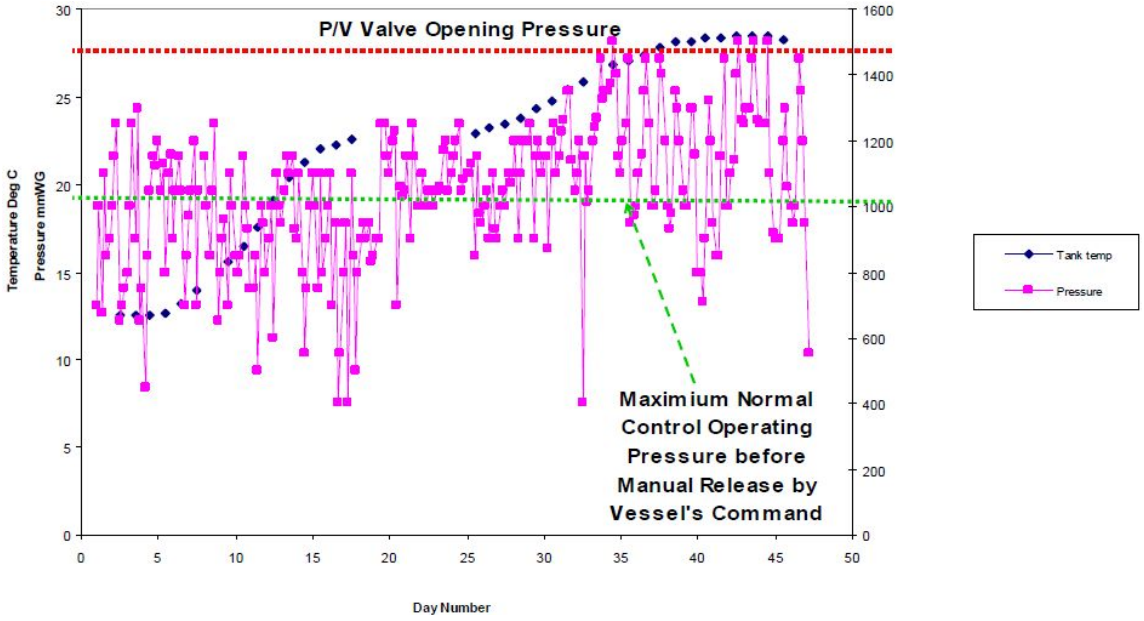
- 이러한 유증기는 적하 동안 유입되는 화물의 체적으로 치환되고 마스트 라이저를 통해 대기 배출된다. 화물탱크 내 과압 방지를 위해 화물의 적하 시작부터 완료 시점까지 마스트 라이저에 격리/제어 밸브는 완전히 열려있게 된다. 일단 마스트 라이저 밸브가 닫히고 적하가 완료되면 화물탱크 내로 공기/산소의 유입 방지를 위해 탱크 내부는 양압(陽壓)을 형성하게 된다.
- 아래 <그림. 2>는 탱커의 갑판 상에 있는 압력 제어 및 경감 메커니즘(즉, 탱커의 마스트 라이저, 탱크별로 P/V 밸브 및 P/V 브레이커)을 보여준다.

<그림 .2> 원유탱커의 주화물 갑판

- 마스트 라이저는 통상적으로 탱크의 압력 제어를 위해 화물의 적하 작업 동안 사용된다. 화물의 적하 비율상 유입되는 원유로부터 치환되는 유증기의 자유로운 유동을 위해 마스트 라이저의 개구부는 갑판으로부터 6 m 이상에 있다. 화물탱크로부터 VOC의 치환 비율은 적하율과 동일하겠지만, 치환되는 유동 상황에서 VOC의 농도는 화물 적하 전에 탱크 내 이미 잔존하고 있던 가스/유증기에 추가되는 유입 화물로부터 발생하는 VOC의 생성 비율에 달려있다.

○ 항행 동안 VOC의 배출

- 항해하는 동안, 화물탱크 얼리지 상의 가스/유증기와 액체화물의 온도는 다양하다. 기상(氣相)은 불포화가스(불활성가스 - 안전 및 보호 목적) 및 포화가스(화물로부터 생성된 탄화수소 유증기)로 구성되어 있다. 화물탱크 내 기상 온도는 다양하게 변하는데 정오에 최 고온에 도달하고 이른 아침에 최 저온이다. 액체화물의 온도 변화는 매우 느리고 이는 선체 설계 및 주변 해수온도에 달려있다.
- 아래 <그림 .3>은 SBT를 갖춘 단일선체구조 유탱커의 유증기 압력 및 화물온도 자료의 기록 예를 보여준다. 이 그래프에서 X축은 항해일이고, Y축은 화물온도(℃) 및 탱크 내 기상의 압력(mmWG)이다. 이 그래프는 P/V 밸브의 열림압력 수준 뿐만 아니라 통상적인 작동 배출압력을 보여준다.

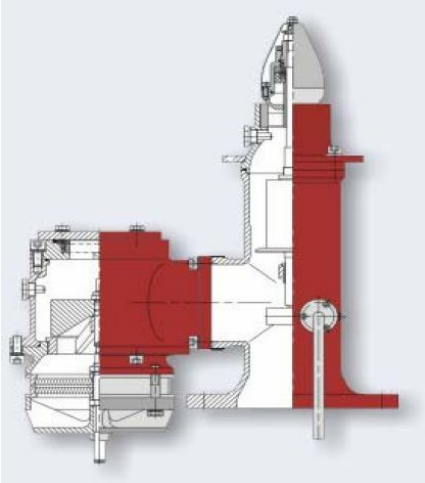


<그림 .3> 원유운송 항해 동안 온도 및 압력 프로파일

- 이중선체구조 유탱커는 화물탱크와 외판 사이에 공소/평형수 공간이 배치되어 있기 때문에 액체 화물의 온도는 적재 당시의 화물 온도가 장기간 유지된다.

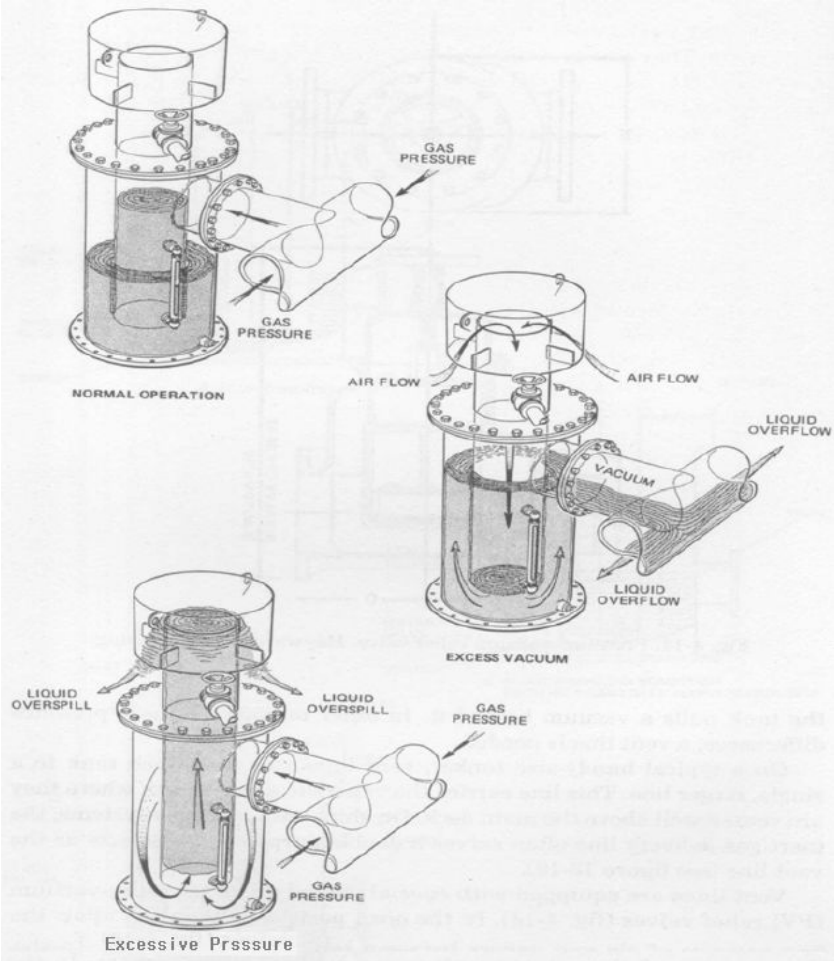
○ 원유탱커의 유증기 압력 제어 메커니즘

- 원유탱커는 어느 일정 수준까지 유증기의 고압을 견디어 내도록 설계·건조된다. 과도한 압력에 대비하여 선박 구조를 보호하기 위하여 두가지 다른 수준의 안전 메커니즘이 SOLAS 규정에 따라 설치된다.
  - 탱크별로 P/V 밸브; 그리고
  - 공통 P/V 브레이커.
- P/V 밸브는 화물탱크 과압 방지를 위한 1차 메커니즘이다. P/V 밸브의 설계 및 작동 요건은 ISO 5364:2000에 명시되어 있으나 개별 밸브의 열림/닫침 압력 설정치는 관련 구조상 안전 마진에 따라 설정되어 있다.



<그림 .4> P/V 밸브의 설계구조

- P/V 밸브는 두가지 요소로 구성되어 있다. 즉, <그림 .4> 좌측의 진공보호(vacuum protection) 부분 및 우측의 압력제어(pressure control) 이다. 이러한 두가지 메커니즘은 미리 설정된 압력에 도달되면 설정된 중량을 가진 다이어프램이 들어 올려 진다. 압력 밸브 측의 출구 노즐은 요구되는 유증기 출구 배출속도를 가지도록 설계된다.
- 각 화물탱크에는 P/V 밸브가 설치되어 있고 공동 유증기 주관으로부터 독립되어 있다. P/V 밸브의 전형적인 설정치는 1,400 ~ 1,800 mmWG 이다. 이 밸브는 100 ~ 150 mm 직경을 가진 배관의 대기 방향 쪽에 고정되어 있고 갑판으로부터 적어도 2 m 상에 설치돼 있다. 이러한 밸브의 기계적인 손상을 방지하기 위한 요건 때문에 닫힘 압력은 댐핑 메커니즘(밸브의 햄머링을 방지하기 위해 진동 감쇄)으로 제어된다. 댐핑 메커니즘으로 인하여 밸브의 닫힘 압력은 다양하지만 400 ~ 800 mmWG의 범위 안에 있다.
- P/V 밸브의 압력안전 시스템을 지원하는 것은 P/V 브레이커와 같은 2차 안전 메커니즘이다. 공동 유증기 시스템 내에서 급속한 압력 변동이 발생하는 경우 P/V 브레이커는 과압을 경감하기 위해 사용된다. 단일 P/V 브레이커는 공동 유증기 배관에 설치돼 있고 모든 화물탱크 지관에 공급되며 최종적으로 마스트 라이저에 이르게 된다.
- P/V 브레이커의 압력 설정치는 대략 2,000 mmWG와 동등한 압력 설정을 가진 P/V 브레이커 내부의 물기둥(water column)에 의해 이뤄진다. 이러한 물기둥은 또한 외부의 공기 유입을 격리시킨다. 탱크 유증기 시스템 내에서 과도한 압력 변화가 발생하는 경우 과압 발생 시 물기둥은 브레이커의 외부로 유출되어 갑판 상으로 배출되거나, 부압 발생 시 화물탱크 내부로 떨어진다. 이로 인하여 전체적인 유증기 시스템은 대기압에 노출되고 설비의 직경에 따라 시스템 내 압력은 재빨리 복구된다. 따라서 이러한 안전 메커니즘은 P/V 밸브가 작동 실패하거나 압력의 급격한 변동을 적절히 완화하도록 충분한 용량이 아닌 경우에만 작동한다.
- P/V 브레이커가 일단 작동하게 되면 탱크 유증기 시스템 내 압력은 대기압으로 경감되지만 화물탱크 시스템 내부는 산소 유입에 노출된다.



<그림 .5> P/V 브레이커의 설계 및 작동원리

SECTION 3 - 원유로부터 유증기의 발생

○ 왜 VOC의 대기 배출을 제한하는가? VOC는 대기 오염물질이고 대류권의 오존(스모그 발생) 생성의 전조로 작용한다.

따라서, 원유로부터 비메탄계 VOC 배출율에 영향을 미치는 4가지 기준은 다음과 같이 있다.

- 원유의 휘발성 및 증기압
- 화물탱크 내 액체와 기상의 온도
- 화물탱크 내 압력 설정치 또는 유증기의 통제
- 화물탱크 내 유증기의 크기나 양

○ 원유의 휘발성 및 증기압

- 레이드 증기압(Reid Vapour Pressure, RVP) :
  37.8℃(100°F)의 표준온도에서 Raid 장치 표준 측정법에 의한 시험에서 얻을 수 있는 탄화수소 유증기압이다. 이 압력을 결정하기 위한 표준시험 파라메터는 유증기양 대비 액체양의 비를 식별하는 것이 중요하다. 이 비율은 유증기 4개당 액체 1개 이므로 이 파라메터를 반영하기 위한 압력은 화물탱크가 약 20% 적재될 때의 압력이다.
  이와 관련 두가지 파라메터로써 포화 유증기압 및 불포화 유증기압이 있는데 이들 파라

메터는 선박 운항과 VOC 제어 관련하여 보다 명료한 안내를 제시해 준다.

- 포화 유증기압(Saturated Vapour Pressure, SVP) :
  액상에서 생성된 유증기 체적의 압력. 포화증기압은 액상 원유로부터 배출된 탄화수소 유증기에 의해서만 생긴다. 액상의 온도가 증가하거나 하강하게 되면 포화증기압도 함께 변화한다 - 액상 온도가 증가하면 포화 유증기압도 증가한다.
  포화 유증기압은 유증기 체적의 크기에 따라 변하지 않고 단지 액상의 온도에 따라 변한다- 기상의 온도가 아님.
- 불포화 유증기압(Unsaturated Vapour Pressure, UVP) :
  불포화 유증기압은 액상과는 상관없고 공기 또는 불활성가스로부터 생긴다. 「Ideal Gas Law」라는 물리학 표준법에 의하면 체적 그리고/또는 온도의 두가지 변화는 닫힌 시스템 내에서 압력을 변화시킨다.
  이러한 특징은 화물탱크 내에서 24시간 내내 압력의 변화를 유발시키는데 이는 불활성가스와 관련 있다. 하지만 이와 같은 가스/유증기 형태에서 생성된 압력이 화물시스템 내의 총 유증기압은 아니다.
  불포화 증기압(불활성가스)으로부터 생성된 압력 이면에는 포화 증기압(원유로부터 생성된 탄화수소 증기)에 의해 생성된 압력이 있다. 앞서 언급했다시피 이러한 압력은 주어진 화물/액상 온도에 대하여 일정하게 유지되며, 화물 온도는 외부 인자(햇볕, 해수온도, 대기온도)에 의한 가열이나 냉각으로부터 유증기 온도와 같이 변화하지 않는다. 따라서, 총 증기압에 대한 변화는 탱크 내 불활성가스의 압력 때문이다.
- 총 유증기압 : 이 압력은 유증기 체적의 다양한 파라메터와 다른 온도 제어를 가진 닫힌 시스템 내에서 생긴다. 사실상 이 압력은 닫힌 시스템 내에서 포화 증기압과 불포화 증기압의 조합이다.
  따라서, 유증기 시스템 내 측정된 압력은 다른 형태의 가스로부터 생성된 두가지의 개별 압력을 합산한 것이다.

○ 화물탱크 내 원유의 온도

- 원유탱커에서 두가지 다른 상에 대한 온도는 화물탱크 내 압력의 크기 및 범위에 다른 영향을 가지고 있다. 이와 관련하여 두가지 상의 온도 영향을 구별하여 고려할 필요가 있다.
- 원유탱커에서 액상 온도 - 액상 온도는 화물 가열이 행해지지 않는다면 항해 동안 변화가 거의 없다.
- 원유화물 탱크에서 유증기 또는 가스의 온도 - 화물탱크 내 기상의 온도는 낮/밤의 주기 동안 보다 급속하게 변화한다. 따라서, 기상이 데워지는 낮시간 동안 탱크 내 압력은 증가한다.

○ 화물탱크 내 압력 설정치 또는 유증기의 통제

- 원유화물탱크 유증기 시스템 내 압력 제어는 원유화물로부터 유증기 생성을 결정짓게 된다. 시스템 내 압력을 화물의 포화증기압으로 제어한다면 액상과 기상 사이의 균등 압력이 얻어지고 화물로부터 더 이상의 VOC는 생성되지 아니할 것이다. 그러나 화물

탱크 내 유증기압이 포화 증기압보다 낮은 압력으로 하강한다면 시스템 내에서 균형을 회복하기 위해 VOC가 배출된다.

○ 화물탱크 내 유증기의 크기나 양
- 화물탱크 내 가스 또는 유증기상의 체적은 시스템 내 압력 설정을 위해 중요한 기준이다.
- 원유 액상으로부터 생성되는 포화 유증기는 유증기로 점유된 공간의 변화에 영향 받지 않는다. 그러나 원유로부터 발생되는 유증기의 수많은 탄화수소 형식 때문에 2% 내지 20%에 이르는 기상의 체적 변화는 원유의 포화 증기압에 영향을 미칠 것이다.
- 유증기 시스템 내 불포화 가스(불활성가스) - 불포화 가스로 점유되는 체적의 감소는 가스 발생의 증가를 초래한다.

SECTION 4 - VOC 통제를 위한 방법 및 장치

4.1 화물의 적하 동안 VOC 통제를 위한 방법 및 장치

○ 최적의 이행 및 설계
- 수동으로 압력을 경감하는 절차(탱크 압력의 제어);
- P/V 밸브의 상태 및 관리;
- 해치 및 배관의 가스켓 상태;
- 불활성가스 토핑 업(topping up) 절차;
- 부분 적재한 탱크;
- 적하 절차 및 적하율;
- 유증기 회수 매니폴드 및 육상시설로 연결하는 배관의 사용.

○ 유증기 배출제어시스템(Vapour Emission Control Systems)
- 유증기 배출제어시스템은 화물의 적하작업 동안 생성된 VOC를 마스트 라이저를 통해 대기 배출하지 아니하고 육상 터미널로 보내는 시스템이다.
- 유증기 배출제어시스템은 USCG 46 CFR Part 39로 먼저 도입되었고 후속으로 IMO는 MSC/Circ.585(유증기 배출제어시스템의 표준)를 도입한 바 있다. 아울러, MARPOL Annex VI / Reg.15에는 유증기 배출제어시스템을 갖추도록 요구되는 터미널에서 화물 적재를 하는 선박에 대해서만 강제 적용하고 있다.
- 유증기 배출제어시스템 요건은 작동사항 및 훈련뿐만 아니라 기술적인 사항(유증기 회수 배관 및 매니폴드, 유증기 압력 센서 및 경보, 레벨 게이지와 독립형 넘침 경보)을 포함하고 있다. 작동사항에 대한 규제는 최대 허용 적하율을 포함하고 있는 VECS 매뉴얼에 있다. 최대 허용 적하율은 다음 중에서 한가지로 제한된다.
  - 화물 탱크로부터 유증기 매니폴드에 이르는 유증기 배출제어시스템의 압력 강하(P/V 밸브의 80%를 초과하지 아니할 것);
  - 각 화물탱크에 대한 P/V 밸브의 최대 압력 릴리프 용량;
  - 각 화물탱크에 대한 P/V 밸브의 최대 진공 릴리프 용량;
  - 화물이 가득 채워진 상태에서 넘침 경보가 작동하기 까지 사이 시간(최소 1분).

이 계산은 최대 유증기 발생율 뿐만 아니라 최대 화물 유증기/공기 밀도를 기초로 한다. 아울러, 이 계산은 단일 탱크 및 다수 탱크에 대하여 행해진다.

- USCG에는 유증기 균형에 대한 추가적인 요건이 있다. 이 요건은 탱크 내 폭발 소진기(detonation arrestor), 산소농도 경보와 전기적인 충전 위험을 방지하기 위한 수단과 같은 기술적인 요건 뿐만 아니라 작동 요건도 포함하고 있다.
- IMO 또는 USCG 규정에 명시된 유증기 배출제어시스템이 설치된 선박의 경우, 유증기의 제어는 본선 VECS 매뉴얼의 절차에 따라 육상 터미널로 회수한다.

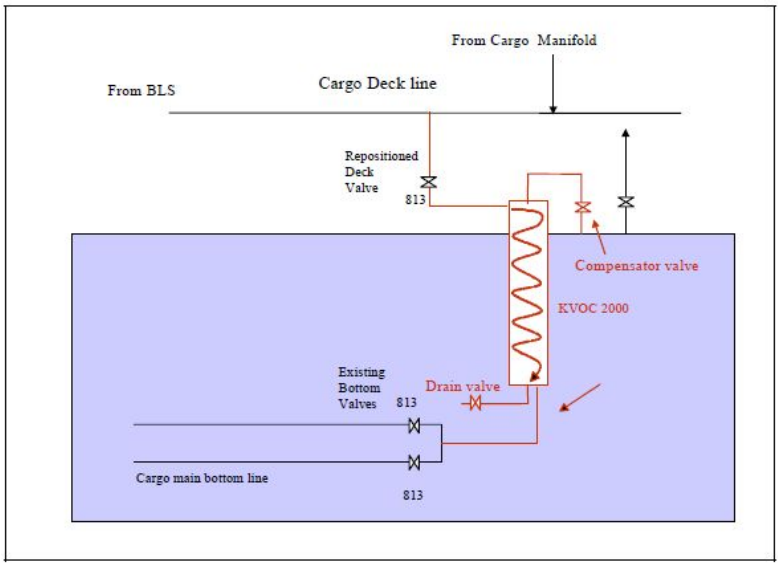
○ 유증기압 경감 제어시스템(Vapour Pressure Release Control Valve, VOCON valve)

- VOCON 밸브는 밸브의 닫힘 압력 제어를 원격으로 한다. 일단 화물탱크가 포화증기압에 도달하게 되면 원유로부터 유증기 배출을 제한하기 위해 적하 과정동안 높은 압력을 유지하도록 설정할 수 있다. 밸브의 닫힘 압력 설정은 현장이나 화물제어실에서 원격으로 할 수 있다.

<그림 .6 VOCON 밸브>

○ 화물배관의 부분적 압력 제어시스템(Cargo Pipeline Partial Pressure Control System, KVOC)

- KVOC 시스템의 설치 목적은 화물의 적하 및 이송 동안 생성된 VOC의 대기 배출을 줄이는 것이다. KVOC의 기본 원리는 예상되는 화물 적하율에 대하여 특별히 설계된 하강 배관기둥을 설치한 것이다. 이 하강 배관기둥은 일반적인 하강 배관에 비하여 큰 직경을 가지고 있다. 증가된 직경은 기둥 내 기름의 유속을 줄여주고 적하율에서 기름의 비등점 압력이 조정된다. 기둥 내 압력은 포화증기압을 조정하게 되어 기둥 내 압력과 포화증기압 사이에 균형을 이루게 한다. KVOC 기둥은 화물의 적하 동안 받게되는 압력을 방지한다.
- KVOC 시스템은 모든 VOC를 제거하도록 설계되지는 않았지만 VOC의 생성을 줄여준다.
- 거품으로 인하여 가스 기포화가 방지되므로 KVOC는 화물의 이송 동안 VOC를 경감하는 효과가 있다. VOC 생성을 더욱 줄이기 위하여, 화물탱크에서의 압력을 가능한 한 높게 설정해야 한다. 800 ~ 1,000 mmWG에 이르는 고압이 원유탱크로부터 VOC의 비등과 방산을 줄여줄 것이다.
- KVOC 시스템이 설치되었다면, 공소와 화물의 적재와 이송 동안 방출되는 H2S 농도 줄이기 위해 항상 사용된다.



<그림 .7 KVOC 배관 흐름 플랜>

○ 증가된 압력 릴리프 설정치(운송 조건에도 적용 가능)

- Section 2 및 3에서 언급되었다시피, 탱크 압력이 화물의 유증기압 이상 유지되는 한 액상과 기상 간에 균형이 얻어지고 화물로부터 VOC는 더 이상 생성되지 아니할 것이다. 이는 P/V 밸브 릴리프 설정치를 증가시킨다면(예, 2,100 mmWG) 화물의 포화증기압이 릴리프 설정치 미만으로 있는 한 화물로부터 VOC는 발생하지 아니할 것이다.
- 앞서 언급했다시피, 최대 화물탱크 설계압력은 적어도 2,500 mmWG이고 P/V 밸브의 설정치 증가(예, 2,100 mmWG)는 추가적인 구조 강화를 필요로 해서는 안 된다. 그렇지 아니하다면 P/V 밸브의 조정/교체가 필요할 것이다. 또한, P/V 브레이커, 불활성가스의 deck water seal을 제공하는 물, 불활성가스/유증기 배출제어시스템에서 압력센서와 경보의 설정치를 변경/수정할 필요가 있다. 아울러, 수동 압력 배출을 위한 선상 작동절차를 조정할 필요가 있다.
- 한가지 추가적인 이득은 압력/진공 릴리프 설정치를 증가시키면 화물탱크 내 잔존하는 유증기를 제한하기 때문에 유증기 배출을 육상으로 회수하는 동안 화물 적재량을 증가시킬 수 있다.
- 압력 릴리프 설정치를 증가시킨 선박의 경우, 원유의 포화증기압이 압력 릴리프 밸브 설정치 보다 미만에 있게 될 때 VOC 배출은 통제된다.
- 보다 높은 압력 설정치를 가진 선박이 화물 작업 전에 감압이 필요하다면 터미널과 화물검사원은 인지해야 한다. 이는 VOC를 통제하고자 하는 선박의 능력을 제약하는 것이다.

○ 유증기 회수 시스템

- 1990년대 어떤 주관청은 VOC 배출을 줄이기 위하여 해상시설을 요구한 바 있고 이로 인하여 북해의 셔틀탱커에 선상 유증기 회수시스템을 개발 및 설치하기에 이르렀다. 다른 개념은 비메탄계 VOC 배출을 줄일 목적으로 개발되었다.
- 유증기 회수 시스템을 갖춘 유탱커의 경우, VOC 배출은 회수장치가 작동중일 때 통제된다.
- 선상 유증기 회수 시스템의 예 : 응축 시스템, 흡착 시스템, 탄소 진공-재생 흡착 시스템.

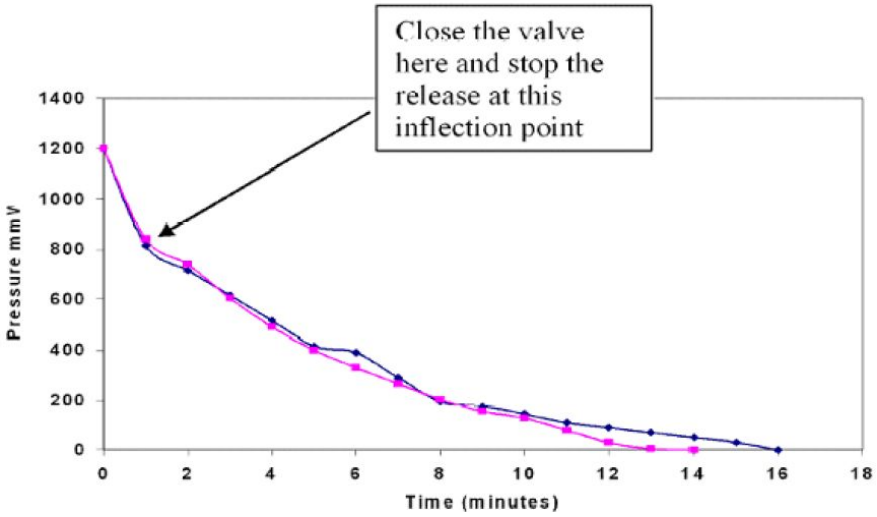
4.2 화물의 운송 동안 VOC 통제를 위한 방법 및 시스템

○ 최적의 이행 및 설계

- 수동으로 압력을 경감하는 절차(탱크 압력의 제어);
- P/V 밸브의 상태 및 관리;
- 해치 및 배관의 가스켓 상태;
- 불활성가스 토핑 업(topping up) 절차;
- 부분 적재한 탱크;
- 적하 절차 및 적하율;
- COW 절차(닫힌 주기)

○ VOCON 절차

- VOCON 절차는 화물탱크 유증기 시스템으로부터 가스의 배출 동안 압력의 강하 모니터링 및 기록을 요구한다(아래 그림 .8 참조). 그 기록은 화물제어실에 있는 불활성 압력 게이지또는 가능하다면 갑판 상에 위치한 불활성가스 게이지를 이용한다.
  아래 <그림 .8>은 마스트 라이저의 사용 관련 압력강하 프로파일 및 마스트 라이저가 닫히는 굴곡점을 보여준다.



<그림 .8> A master riser release

- VOCON 작동 절차
  - 마스트 라이저가 열리기 전에 불활성가스 시스템의 압력을 주지할 것.
  - 압력 릴리즈 밸브를 열고, 주기적인 간격(매 30초 마다 마스트 라이저로 배출)으로 불활성가스 배관 내의 압력을 기록/모니터링 할 것.
  - 압력 강하 프로파일을 계획하여 둔다. 이는 수기(手記)로 하거나 화물제어실 내의 불활성가스·산소/압력 기록기를 이용하여 작성할 수 있다.
  - 압력 강하가 일정해지면(초기의 급격한 압력 강하 후) 가스 배출을 멈추고 밸브는 닫혀야 한다.
  - 유증기/불활성가스 시스템 내의 최종 압력을 확인하기 위하여 통제된 배출이 완료된

후 탱크의 가스 압력을 모니터링한다.

- 조언 사항
  - 상기 <그림 .8>은 릴리즈 기간 동안 압력 강하율의 변화를 보여준다. 만약 가스 배출이 이 지점 이후에도 지속된다면 불활성가스 시스템 내 압력은 압력 강하 변화율 지점과 관련된 압력으로 빠르게 회복될 것이다.
  - 압력의 직강하 선이 있고 800 mmWG까지 굴절이 없다면 릴리즈 밸브를 닫는다.
  - ISGOTT 발행물을 참고하여, 선박의 화물 시스템으로부터 벤트된 가스의 위험성을 줄이기 위하여 모든 안전 조치가 취해져야 한다.

○ 화물 양하/밸러스팅 동안 VOC 제어를 위한 방법 및 시스템

- 분리평형수 탱크 요건과 이중선체구조 요건이 적용된 이후 화물의 양하 및 밸러스팅 동안 VOC의 배출은 더 이상 쟁점사항이 아니다.

SECTION 5 - VOC 배출의 모니터링 및 통제

○ 기록 유지는 VOC 관리계획서 요건에 따르고 있음을 증빙하기 위해 필요하다. 기록유지 서식은 원유 화물로부터 VOC의 배출을 줄이는 방법의 특정한 형식과 선박의 VOC 배출 관련 작업방식에 달려 있다.

○ 원유탱커에서 행해지는 기록유지 형식과 범위에 대한 일반적인 예로써, 수(手)조작 VOCON 절차서의 방법론이 사용된다. 적절한 기록유지 방법은 다음과 같다.

- 특정 항해에 대하여 탱크 가스/유증기 시스템 내 목표 또는 최소 압력
  - 배출이 일어나기 전 탱크/가스 시스템 내 시간과 압력의 기록.
  - 배출이 완료된 후 탱크/가스 시스템 내 시간과 압력의 기록.

○ 이전의 자료와 정보는 VOC 배출의 범위나 정도를 평가하거나 정하기 위하여 선박관리회사나 운항자에 의해 수집될 수 있다. 이러한 평가의 개요로써 다음 사항이 고려될 수 있다.

- VOCON 절차에 의해 수(手)조작 VOCON으로 운전하는 선박의 경우, 가스/유증기의 배출량은 화물탱크 내에서 가스/유증기 체적에 대한 압력 변화(닫힘압력에 열림압력) 관계를 이용하여 추정할 수 있다(Ideal Gas Law 제3절 참조).

SECTION 6 - 훈련 프로그램

○ 훈련 프로그램은 각 선박의 VOC 관리에 대하여 전반적인 임무를 맡는 책임자를 위해 개발되어야 한다. 훈련 프로그램에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- VOC 배출 통제의 목적을 소개 :
  - 휘발성유기화합물은(VOC)는 독성일 수 있고, VOC가 공기중으로 증발하면 질소산화물(NOx)과 반응할 수 있고 공기중에서 산소 분자를 분쇄하여 지상에서 오존을 형성하게 되는데 흔히 스모그 현상으로 나타난다. 오존은 기도와 폐에 극히 해로우며, 연약한 기도 세포내부 조직에 심각한 손상을 가져와서 폐기능 약화와 호흡기 질환을

가져온다.
- MAPOL Annex VI의 제15규칙

- VOC 배출통제 원리를 소개 :
  - 원유로부터 VOC의 발생(Section 3을 참조)
  - 원유탱커의 압력 제어/릴리즈 시스템(Section 2 참조)
- 일반적인 VOC 배출통제 사양 :
  - VOC 배출의 통제를 위한 방법 및 시스템(Section 4 참조)
- 선박의 특정한 VOC 배출통제 사양 :
  - VOC 배출의 통제를 위한 특정한 방법 및 시스템(Section 4 참조)
- VOC 배출의 모니터링 및 기록 :
  - VOC 배출의 모니터링 및 기록을 위한 방법(Section 5 참조)
- 위험 및 VOC 배출통제 관련 안전(Sectioon 1 참조)
  - 선체의 압력 한계(Section 1 참조)
  - 원유 유증기의 노출 위험에 개인적인 안전

SECTION 7 - 지정된 책임자

○ 선박의 VOC 관리를 총괄적으로 맡을 사람이 지정되어야 한다.

- 지정된 자는 :
  - VOC 관리와 관련된 화물운용 경험이 적어도 1년 이상 있어야 한다. VOC 관리 경험이 없는 경우 VOC 관리 계획서에 명시된 바와같이 VOC 관리 훈련 프로그램을 이수해야 한다.
  - 화물의 적하작업, 원유세정 및 VOC 관리절차가 적용된 이송에 적어도 2회 이상 참가한 경험이 있어야 하며, 이러한 작업들의 1회는 VOC 관리 책임을 맡고서 특정 선박이나 모든 면에서 유사한 선박에서 참가한 것이어야 한다.
  - VOC 관리 계획서의 모든 내용을 숙지하여야 한다.

SECTION 8 - 도면 목록

○ 다음의 도면들이 관리 계획서에 부록으로 포함되도록 권고된다:

- 일반 배치도;
- 탱크 플랜;
- 화물탱크 벤트시스템의 개략도;
- 불활성가스의 개략도;
- 해당되는 경우, 유증기 배출제어 시스템의 개략도;
- VOC 회수 시스템이나 기타 VOC 제어 시스템의 개략도; 그리고
- P/V 밸브의 설정치 및 용량을 포함하여 상세 사항;

○ 다음의 참고 목록을 관리 계획서에 명기하도록 권고된다:

- 해당되는 경우, VOC 배출제어 시스템 매뉴얼;

- 해당되는 경우, VOC 회수 시스템 메뉴얼;
- 해당되는 경우, 기타 VOC 제어시스템 메뉴얼;
- 불활성가스 매뉴얼; 그리고
- COW(원유세정장치) 매뉴얼. -끝-

정 부 대 행 검 사 본 부 장

배부처 : 모든 검사원, 선주, 조선소, 관련 업계

Disclaimer :
Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in this information service, the Korean Register of Shipping is not responsible for any errors or omissions made herein, nor held liable for any actions taken by any party as a result of information retrieved from this information service.